

# エピフィルムボンディングによる 異種材料融合デバイス

荻原 光彦

我々は、異種材料を融合する『エピフィルムボンディング (Epi Film Bonding : EFB)』技術を開発し、新しいプリントヘッドを開発した<sup>1) 2) 3) 4)</sup>。EFB技術を使って開発した新型デジタルLEDプリントヘッドでは、使用するLED材料の大幅削減とプリントヘッドの生産効率の飛躍的な向上、さらにはプリントヘッドの小型化を実現した。

デジタルLEDプリントヘッドでは従来、LED (Light Emitting Diode : 発光ダイオード) を高密度に配列したLEDアレイチップとLEDアレイを駆動するドライバIC (Integrated Circuit) チップをそれぞれプリント配線基板の上にボンディングし、LEDアレイチップとドライバICチップ間を高密度なワイヤボンディングで接続する実装形態をとっていた。この実装形態をとる限り、LEDアレイチップのほとんどの領域を配線やワイヤ接続パッドが占有するためLED領域の数十倍の幅が必要となりLEDアレイチップの小型化には限界があった。さらに、多数チップのダイボンディングや数千本におよぶ高密度ワイヤボンディングといった実装負荷が大きかった。このようなことからLEDプリントヘッドでは、LEDアレイとドライバICを一体化することが大きな開発課題であった。

デジタルLEDプリントヘッドで使うLEDアレイとドライバICはいずれも単結晶半導体材料を使って作製する。しかし、LEDアレイには化合物半導体、ドライバICはSi (シリコン)、というように異なる半導体材料を使う。化合物半導体とSiでは、結晶の格子定数や熱膨張係数などの性質が異なることから、LEDアレイとドライバICを直接一体形成することは困難であった。そのため、LEDアレイとドライバICの一体化は長い間、未解決の課題であった。

我々は、この大きな課題をEFB技術によって解決した。本稿ではEFB技術のデジタルLEDプリントヘッドへの応用を中心に、我々の『夢の実現』について述べる。

## デジタルLEDプリントヘッド

この章では、デジタルLEDプリントヘッドを使う印刷の仕組みについて概要を説明し、従来のデジタルLEDプ

リントヘッドの構造と従来構造の課題について述べる。

### (1) 印刷の仕組み

図1にデジタルLEDプリンタの印刷の仕組みを示す。図1 (a) に示したように、感光ドラムをデジタルLEDプリントヘッドで露光して潜像を形成し、その潜像にトナーを付着させて形成したトナー画像を紙に転写し定着させる。デジタルLEDプリントヘッドは、図1 (b) のように感光ドラムに対向して設置し、印刷幅にわたり高密度に配列したLEDアレイによって感光ドラムを露光する。たとえば、A4サイズで600dpi (dots per inch 1インチあたり、600ドットの印刷密度) のデジタルLEDプリントヘッドには、約5000個の約20 μm□サイズのLEDが42.3 μmピッチで一列に配列されている。

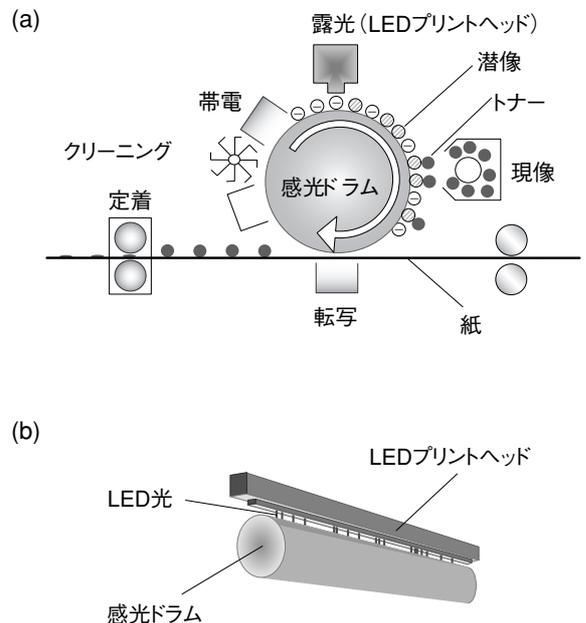


図1 デジタルLEDプリンタの印刷の仕組み

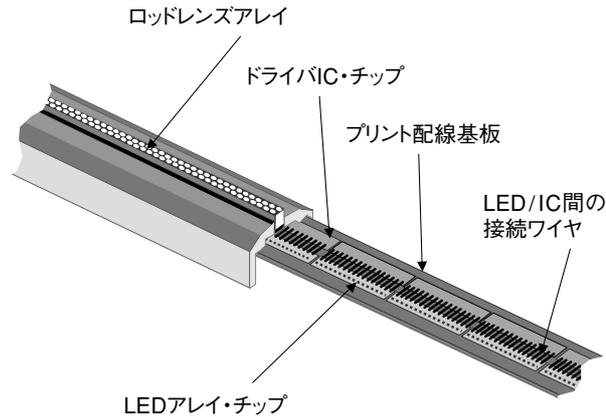


図2 デジタルLEDプリントヘッドの構造

(2) 従来型デジタルLEDプリントヘッドの課題

図2に従来型デジタルLEDプリントヘッドの構造を示す。プリントヘッドは主に、潜像形成のための光源であるLEDアレイチップ、LEDアレイチップを駆動するドライバICチップ、プリント配線基板、LEDの光を感光ドラム上に結像させるためのロッドレンズアレイ、プリントヘッド・フレーム、から構成される。LEDアレイチップとドライバICの間はワイヤボンディングによって接続されている。

図3にプリント配線基板上に実装したLEDアレイチップとドライバICチップの拡大図を示す。たとえばA4、600dpiのプリントヘッドでは、約8mmの長さのチップに192ドットのLEDを配列したLEDアレイチップを26個搭載し、同数のドライバICチップをLEDチップに対向して実装している。LEDの総数は、192（ドット）×26（チップ）=4992（ドット）である。LEDアレイチップとドライバICチップの間は、約3000本の高密度なワイヤボンディングによって接続している。

従来構造ではLEDアレイチップ上に、ワイヤボンディングパッド、およびLEDとワイヤボンディングパッドを接続するための配線が必要である。このため、光源として機能を果たすのはLEDであるにもかかわらず、LEDのサイズに比べ、ワイヤボンディングパッドと配線がLEDアレイチップの大部分の面積を占めていた。実装の観点からも、数千本におよぶ高密度ワイヤボンディングは実装工程上の負荷が大きかった。そこで、LEDアレイとドライバICを一体化し、次の①～③の従来構造の課題解決を目指した。

- ① 発光に必要な最小限のLED材料を使う、
- ② 半導体プロセスを使ってLEDとドライバIC間の接続をド

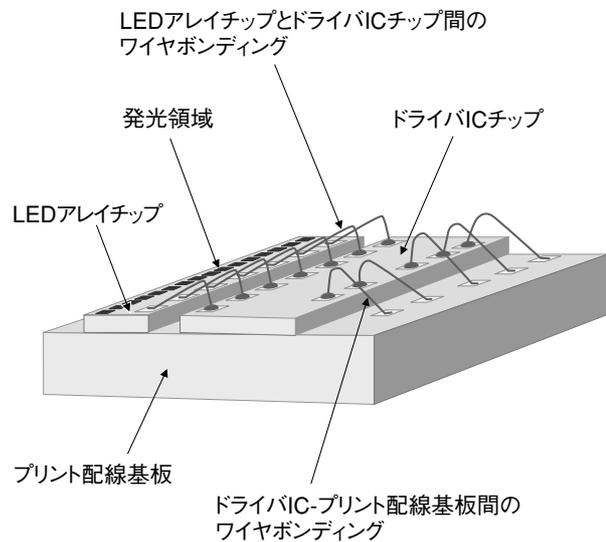


図3 従来型デジタルLEDプリントヘッド実装構造（拡大図）

ライバICウエハ上で薄膜配線を一括形成し、ワイヤボンディングを不要にする、

- ③チップのボンディング（ダイボンディング）数を半減する。

EFB技術

この章ではEFB技術の特長を述べ、前章で説明した従来構造のデジタルLEDプリントヘッドの課題解決のためにはEFB技術を使うことが最も適していることを述べる。そして、EFB技術を使った新型LEDアレイの作製プロセスについて説明する。

## (1) EFB技術の特長

EFB技術は、第1の半導体基板上に形成した半導体薄膜を剥離し、第2の基板上に接着剤を使わずに接合する技術である。本稿ではこの半導体薄膜を『エピフィルム』と呼び、エピフィルムを第1の基板から剥離し、第2の基板上に接合（ボンディング）する技術を、『エピフィルムボンディング（EFB）』技術と呼ぶ。EFB技術における、エピフィルムと下地とのボンディング力は分子間力によるものと推定している。このボンディング力については現在詳しく研究中である。

一般的に、融合しようとする異種材料あるいは異種材料デバイスの最適な作製プロセスはお互いに異なる。したがって、異種材料や異種材料デバイスをそれぞれ最適な作製プロセスで作製した後に融合することができれば、特性や品質が優れた異種材料融合デバイスを作製することができる。

デバイスとして半導体薄膜（エピフィルム）を使うことができれば、異種材料デバイス間を薄膜配線によって接続することができるため、ワイヤボンディングが不要となる。さらに、デバイスとして必要な領域に必要なサイズのエピフィルムを設けることができるので、必要最小限の半導体材料を使ったデバイス作製が可能となる。

EFB技術を使うことによって、こうしたことが全て可能となる。この観点から、EFB技術はLEDアレイとドライバICを一体化（融合）するための技術として最も適した技術と言える。

## (2) 新型LEDアレイの作製プロセス

図4にエピフィルムをドライバIC上にボンディングするまでの工程を示す。化合物半導体材料基板上にLEDを作製するためのエピフィルム層を形成する（図4(a)）。化合物半導体基板とエピフィルム層の間には、エピフィルム層を剥離するための犠牲層を形成する。犠牲層をエピフィルムおよび化合物半導体基板と選択的にエッチング除去することによってエピフィルム層を化合物半導体基板から剥離する。プリントヘッドでは感光ドラムの感度に最適な波長の光が必要なため、LED材料として約750nmの発光波長が得られる化合物半導体材料（AlGaAs）を使う。また母材基板はその材料と格子定数が同一であるGaAs基板を使う。

LEDを形成するためのエピフィルムの厚さは約2 $\mu$ mと薄いため、エピフィルムをハンドリングするために支持体を設け、エピフィルムをGaAs基板から剥離する（図4(b)）。（図4(b)には支持体の図示を省略した。）

次に、剥離したエピフィルムをドライバIC上に、加圧、

密着しボンディングする（図4(c), (d)）。ドライバIC表面はICパターンの凹凸があるため、あらかじめボンディングに適した平坦な面となるよう平坦化する。

図5にドライバIC上にボンディングしたエピフィルムからLEDアレイを作製する工程を示す。図4で説明した工程

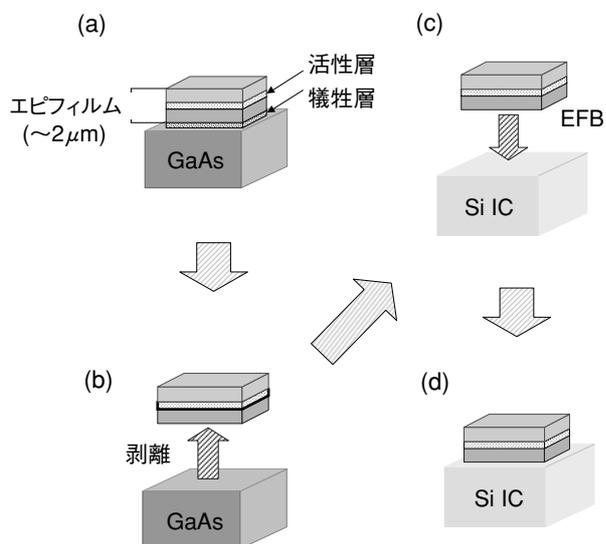


図4 エピフィルムをボンディングするまでの工程

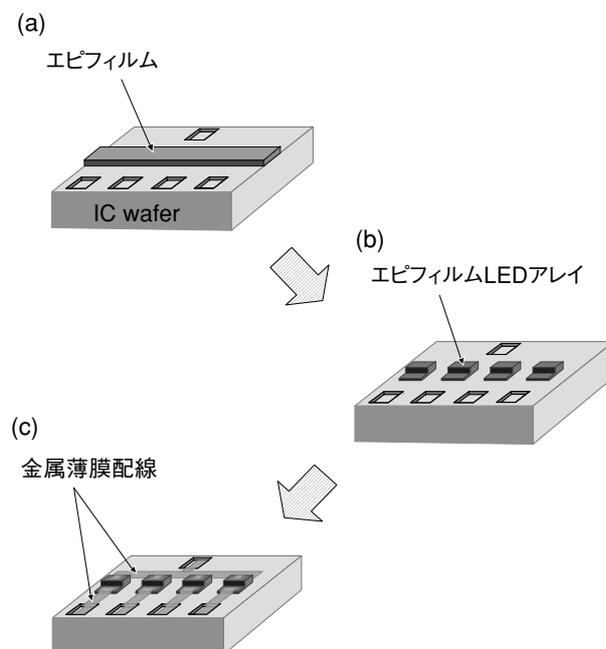


図5 EFB技術を使った新型LEDアレイの作製プロセス

にしたがって、LEDアレイを形成するために必要な長さのエピフィルムをドライバIC上にボンディングする(図5(a))。次に、フォトリソ・エッチング工程によって、個々のLEDに素子分離する(図5(b))。(以下、図5(b)に示したLEDをエピフィルムLEDと呼ぶ。)各エピフィルムLEDのピッチを42.3μmとし、600dpiのエピフィルムLEDアレイを構成する。

次にエピフィルムLEDに電極を形成し、LEDの電極とドライバICの接続パッドを金属薄膜の配線で接続して、新型LEDアレイが完成する(図5(c))。

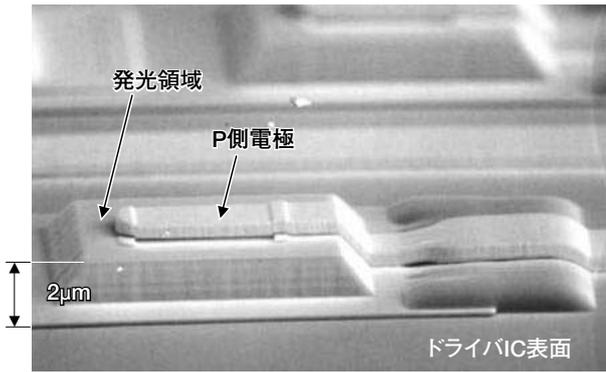


図7 エピフィルムLEDの電子顕微鏡写真

### 新型LEDプリントヘッド

この章では開発した600dpiLEDアレイチップの構造を示し、従来型と新型のデジタルLEDプリントヘッドの実装構造を比較する。新型構造を従来構造と比較し、EFB技術を使うことによって得られる効果を検証する。

#### (1) 新型LEDアレイ

図6に新型LEDアレイチップの上面顕微鏡写真を示す。図6に示したようにエピフィルムLEDをドライバIC上にボンディングし、エピフィルムLEDとドライバIC間は金属薄膜配線で接続している。図6に示したようにエピフィルムはLEDとして最小限の領域にボンディングしている。このことにより、1枚のGaAsウエハからのLEDアレイの取れ数を従来比5倍に向上した。

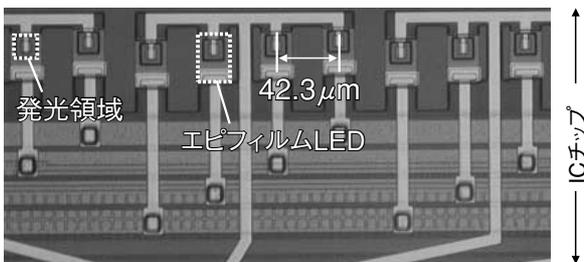


図6 新型LEDアレイの上面顕微鏡写真

図7にエピフィルムLEDの電子顕微鏡写真を示す。エピフィルムをボンディングした後にLEDアレイのパターン形成、電極・配線形成を行うため、エピフィルムはフォトリソ・エッチング工程の薬液にさらされたり、熱処理工程を経る。しかし、図示したようにエピフィルムLEDは下地に密着した状態でボンディングされており、エピフィルムLEDにはクラックや欠損は見られない。このこ

とは、LEDアレイ作製工程に十分耐える高強度なエピフィルム・ボンディングを実現していることを示している。

#### (2) 従来型と新型の実装構造比較

図8に従来型(a)と新型(b)のデジタルLEDプリントヘッドの実装構造を示す。

従来型ではLEDアレイチップとドライバICチップ間が高密度なワイヤによって接続されている。一方新型では、ドライバICへの電源と信号の入力のためのワイヤボンディングが残っているが、LEDアレイとドライバIC間のワイヤボンディングが不要なため、ワイヤ数を従来比約1/5、搭載チップ数を従来比1/2とした。このことによってプリントヘッドの実装工程の効率を2倍に向上した。

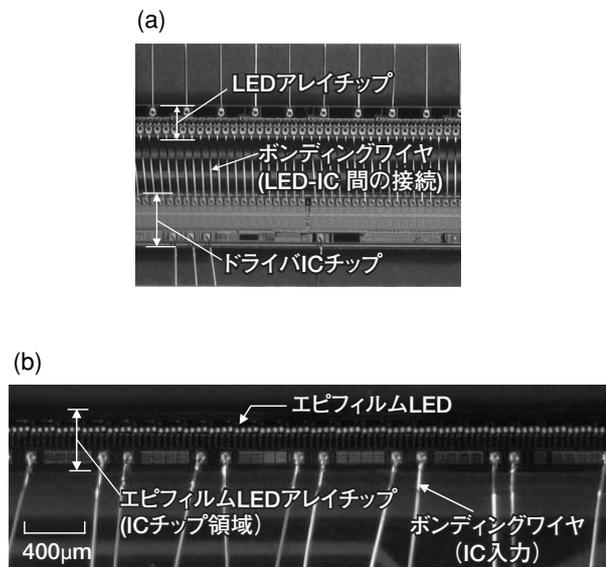


図8 デジタルLEDプリントヘッド (a) 従来型・ (b) 新型

## EFB技術の応用

EFB技術は異種材料を融合する技術として有望な技術である。デジタルLEDプリントヘッドへのEFB技術の応用では、エピフィルムLEDをドライバIC上に1次元に配列した。エピフィルムLEDを使えば微小サイズのLEDと配線とを金属薄膜を使って接続することができるため、従来構造のLEDでは不可能であったような高密度で2次元にエピフィルムLEDを配列できる可能性がある。そこで、EFB技術のプリントヘッドとは別の応用の可能性を検証するために、EFB技術を使って2次元LEDアレイを試作した。

図9はガラス基板上に形成した2次元のエピフィルムLEDアレイの写真である。図示した2次元LEDアレイでは、 $300\mu\text{m}$ □のエピフィルムLEDを $600\mu\text{m}$ ピッチで24ドット×24ドットの2次元に配列している。写真では「沖」の文字が発光している。エピフィルムは、デジタルLEDプリントヘッドで使用した半導体材料と同じ材料を使用した。配線は全て金属の薄膜で形成した。図示した通り、EFB技術を使ってガラス基板上に2次元エピフィルムLEDアレイを作製できることを検証した。

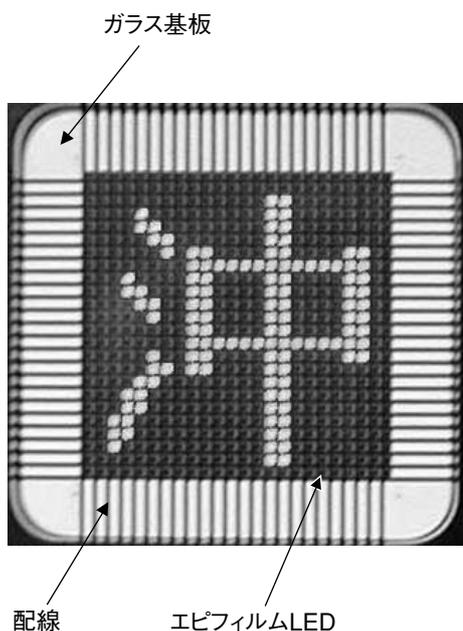


図9 ガラス基板上の2次元エピフィルムLEDアレイ

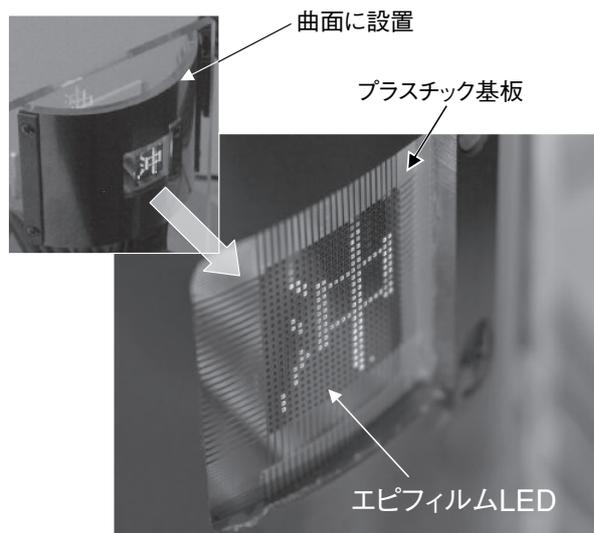


図10 プラスチック基板上的2次元エピフィルムLEDアレイ

エピフィルムは約 $2\mu\text{m}$ と薄くフレキシブルである。そこでEFB技術を使ったフレキシブル基板上的2次元LEDアレイの可能性を検証した。図10は約 $0.2\text{mm}$ 厚のフレキシブルなプラスチック基板上に形成した2次元エピフィルムLEDアレイの写真である。図10では、ある曲率で曲げた状態で文字を表示している。プラスチック基板上的2次元LEDアレイでは、ガラス基板上的2次元LEDアレイ同様、 $300\mu\text{m}$ □のエピフィルムLEDを $600\mu\text{m}$ ピッチで24ドット×24ドットの2次元に配列している。エピフィルム材料もガラス基板上的2次元LEDアレイと同じである。このようにプラスチック基板上にもEFB技術を使って2次元LEDアレイを形成でき、基板を曲げた状態でも発光制御できることを検証した。

## まとめ

我々は、EFB技術をデジタルLEDプリントヘッドへ応用し、LEDアレイとドライバICの融合という『夢』を実現した。EFB技術は異種材料の融合に有望な技術であり、広い分野への応用が期待できる。デジタルLEDプリントヘッドの他に2次元エピフィルムLEDアレイを試作し、さらなるEFB技術の応用の可能性も検証した。今後、新たな『夢の実現』に向けEFB技術を使った新しい異種材料融合デバイスを開拓していきたい。◆◆

## ■参考文献

- 1) H. Fujiwara, M. Mutoh, T. Suzuki, T. Sagimori, H. Kurokawa, T. Igari, T. Kaneto, H. Furuta, and M. Ogihara, "Development of new LED-printhead", Proc. of Imaging Conf. Japan 2006, pp.11-14, Shinagawa, Tokyo, June 6-8, 2006
- 2) M. Ogihara, H. Fujiwara, M. Mutoh, T. Suzuki, T. Igari, T. Sagimori, H. Kurokawa, T. Kaneto, H. Furuta, I. Abiko, and M. Sakuta, "LED array integrated with Si driving circuits for LED printer printhead", Electron. Lett., vol.42, no.15, pp.881-883, 2006
- 3) T. Suzuki, H. Fujiwara, M. Mutoh, H. Kurokawa, T. Igari, T. Kaneto, H. Furuta, I. Abiko, M. Sakuta, and M. Ogihara, "Light Emitting Diode Array Prepared by Epitaxial Film Bonding", Extended abstracts of. Solid State Devices and Materials (SSDM) 2006, Yokohama, Kanagawa, Sept. 13-15, pp.258-259, 2006
- 4) M. Ogihara, H. Fujiwara, M. Mutoh, T. Suzuki, T. Sagimori, H. Kurokawa, T. Igari, T. Kaneto, H. Furuta, I. Abiko, and M. Sakuta, "New printhead using LED arrays integrated with IC drivers", Proc. 22nd Int. Conf. on Digital Printing Technologies, pp.402-405, Denver, Colorado, Sept. 17-22, 2006

## ●筆者紹介

荻原光彦：Mitsuhiko Ogihara. 株式会社沖デジタルイメージング 開発部 部長